

웹 상에서 통계적 에지검출기 개발 및 구현

임 동 훈*

Development and Implementation of Statistical Edge Detectors on the Web

Dong Hoon Lim*

요 약

웹 영상에서 에지는 픽셀의 밝기가 급격하게 변화되는 부분으로 에지를 통하여 물체의 위치나 크기, 물체의 텍스처에 대한 정보를 얻을 수 있다. 지금까지 에지 검출은 주로 단순한 영상에 대해 미분 연산자를 이용한 수학적 방법에 의해 이루어져왔고 최근에 잡음이 포함된 복잡한 영상에 대해 통계적 방법을 이용한 에지검출에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 영상실험을 통하여 기존의 Sobel 연산자 등을 이용한 수학적 방법과 Canny 방법, Wavelet 변환방법 그리고 통계적인 T 검정과 Wilcoxon 검정을 이용한 방법들과의 에지검출 성능을 비교분석하고 Java 언어를 사용하여 웹 상에서 구현한다.

Abstract

An edge is where the intensity of an image moves from a low value to high value or vice versa. The edges tell where objects are, their shape and size, and something about their texture. Many traditional edge operators are derivative based and perform reasonably well for simple noise-free images. In recent, statistical edge detectors for complex images with noises have been described. This paper compares and analysis the performance of statistical edge detectors based on the T test and Wilcoxon test, and mathematical edge detectors based on Sobel operator, and the well-known Canny detector and Wavelet transformation detector, and provides the implementation of these edge detectors using Java on the web.

▶ Keyword : Statistical edge detection, T test, Wilcoxon test, Mathematical edge detector, Canny detector, Wavelet transformation detector

• 제1저자 : 임동훈

• 접수일 : 2005.07.06, 심사완료일 : 2005.08.30

* 경상대학교 정보통계학과 교수

※ 이 논문은 2003년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음.(KRF-2003-015-C00103)

$$\nabla f = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix}$$

I. 서론

영상에서 에지(edge)는 픽셀(pixel)의 밝기가 낮은 값에서 높은 값으로 또는 높은 값에서 낮은 값으로 변하는 영역의 경계에 해당된다. 에지는 물체가 어디에 있으며, 물체의 모양과 크기, 텍스처(texture, 질)에 대한 정보를 가지고 있다[1][2][3].

지금까지 에지검출은 주로 단순한 영상에 대해 미분 연산자를 이용한 수학적 방법들에 의해 이루어져 왔고, 최근 복잡한 영상에 대해 통계적 방법을 이용한 에지검출법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4][5][6].

본 논문에서는 Sobel 연산자 등을 이용한 수학적 방법과 좋은 에지검출기로 잘 알려진 Canny 방법과 Wavelet 변환방법 그리고 T 검정과 Wilcoxon 검정을 적용한 통계적인 방법들 간의 에지맵(edge map)을 통한 에지 검출력 비교와 객관적인 척도 하에서 양적으로 에지검출 성능을 비교하고자 한다. 그리고 웹과 영상처리의 연결도구로서 적합한 Java 언어를 사용하여 웹 상에서 구현하고자 한다. 컴퓨터에 대해서 잘 모르는 사용자를 위해 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface : GUI) 방식을 채택함으로써 보다 많은 사용자들이 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

II. 기존의 에지검출법

2.1 수학적 방법

2.1.1 1차 미분을 이용한 방법

영상에서 1차 미분은 그레디언트(gradient)의 크기를 이용하여 구현된다. 함수 $f(x, y)$ 의 좌표 (x, y) 에서 f 의 그레디언트는 다음과 같이 2차원 열 벡터(column vector)로 정의된다.

여기서 G_x 는 x 방향의 미분이고 G_y 는 y 방향의 미분이다. 그리고 그레디언트의 크기는 아래와 같이 주어진다.

$$\nabla f = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \dots\dots\dots (2.1)$$

실용적으로 식(2.1)의 ∇f 에서 제곱과 제곱근 대신에 절대값을 이용하여 다음과 같이 근사화하여 사용한다.

$$\nabla f \approx |G_x| + |G_y| \dots\dots\dots (2.2)$$

에지검출에 흔히 사용하는 Sobel, Roberts, Prewitt, Frei-Chen 방법의 마스크(mask)는 다음과 같다.

	G_x	G_y
Sobel	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$
Roberts	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
Prewitt	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$
Frei-Chen	$\begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 & -\frac{1}{\sqrt{2}} \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix}$

우리는 위의 마스크들을 영상에 컨벌루션(convolution)하여 얻은 식(2.2)의 ∇f 값과 임계값과 비교하여 에지존재 여부를 판단한다.

2.1.2 2차 미분을 이용한 방법

함수 $f(x, y)$ 의 좌표 (x, y) 에서 2차 미분 연산자 중에서 대표적인 Laplacian은 다음과 같다.

$$\nabla^2 f = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

아래의 마스크는 4 방향 Laplacian 마스크와 8 방향 Laplacian 마스크이다.

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

우리는 위의 마스크들을 컨벌루션하여 얻은 식 (2.3)의 $\nabla^2 f$ 값과 임계값과 비교하여 에지존재 여부를 판단한다.

2.2 Canny 방법

Canny[7]은 에지검출하는데 3가지 성능평가기준인 오류율(error rate), 국소화(localization), 반응성(response)을 만족하는 에지검출 방법을 제시하였다.

영상 $f(x, y)$ 으로 부터 가우시안 필터 $g(x, y)$ 을 컨벌루션하여 얻은 평활화한 영상은 식(2.4)과 같다.

$$s(x, y) = g(x, y) * f(x, y) \dots\dots\dots (2.4)$$

여기서 $g(x, y) = e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}}$.

영상 $s(x, y)$ 의 수직과 수평방향의 미분을 각각 $P(x, y)$ 와 $Q(x, y)$ 라 할 때 그레디언트 크기는 다음과 같다.

$$M(x, y) = \sqrt{P(x, y)^2 + Q(x, y)^2} \dots\dots\dots (2.5)$$

우리는 식(2.5)의 $M(x, y)$ 값이 임계값보다 크면 에지로 판정한다.

2.3 Wavelet 변환방법

Mallat[8], Mallat and Zhong[9] 등은 영상에서 Wavelet 변환을 이용하여 에지를 검출하였다.

함수 $\theta(x, y)$ 에 대한 Wavelet 함수 $\psi^1(x, y)$ 와 $\psi^2(x, y)$ 을 다음과 같이 정의한다.

$$\psi^1(x, y) = \frac{\delta\theta(x, y)}{\delta x},$$

$$\psi^2(x, y) = \frac{\delta\theta(x, y)}{\delta y} \dots\dots\dots (2.6)$$

그리고 식(2.6)에서 $\psi^1(x, y)$ 와 $\psi^2(x, y)$ 을 2^j 만큼 확장(dilation)한 함수를 다음과 같이 정의한다.

$$\psi^1_{2^j}(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \psi^1\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right),$$

$$\psi^2_{2^j}(x, y) = \frac{1}{2^{2j}} \psi^2\left(\frac{x}{2^j}, \frac{y}{2^j}\right).$$

스케일 2^j 에서 함수 $f(x, y) \in L^2(R^2)$ 의 Wavelet변환은 다음의 식(2.7)과 같다.

$$W^1_{2^j} f(x, y) = f * \psi^1_{2^j}(x, y),$$

$$W^2_{2^j} f(x, y) = f * \psi^2_{2^j}(x, y) \dots\dots\dots (2.7)$$

따라서 스케일 2^j 에서 입력영상 $f(x, y)$ 에 대한 Wavelet의 모드(modulus)는 다음과 같다.

$$M_{2^j} f(x, y) = \sqrt{|W^1_{2^j} f(x, y)|^2 + |W^2_{2^j} f(x, y)|^2} \dots\dots\dots (2.8)$$

우리는 식(2.8)의 모드 $M_{2^j} f(x, y)$ 와 적당한 임계값과 비교하여 에지 여부를 판정한다.

III. 통계적 에지 검출기 개발

본 논문에서는 인접한 두 개의 3 × 3 근방영역에서 픽셀 값들의 차이에 대한 통계적 검정을 적용하여 에지를 검출하고자 한다. (그림 1)은 수평방향, 수직방향, 대각선방향의 에지를 검출하기 위한 윈도우들이다. 참고로, Lim and Jang[5]는 수평과 수직방향의 에지만을 고려하였고 Lim[6]은 한 개의 5 × 5 윈도우상에서 통계적 검정을 적용하여 에지를 검출하였다.

(그림 1)의 왼쪽 근방영역 A_L 의 픽셀값 X_1, \dots, X_N 과 다른 쪽 근방영역 A_R 에 속하는 픽셀값 X_{N+1}, \dots, X_{2N} 들은 각각 연속 분포 $F_1(x) = F(x - \mu_1)$ 과 $F_2(x) = F(x - \mu_2)$ 로부터 얻은 확률 표본이라고 하자. 여기서 μ_1, μ_2 들은 이동 모수(shift parameter)이다.

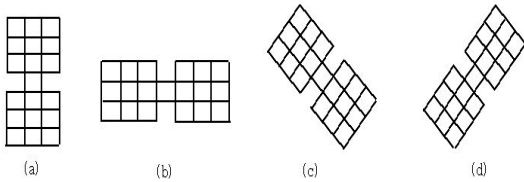


그림 1. (a)수평 (b)수직 (c) 45° (d) 135° 방향의 에지검출을 위한 두 개의 인접한 3 × 3 윈도우

Fig 1. Adjacent two 3 × 3 windows for detecting edges in four directions: (a) horizontal edge (b)vertical edge(c) 45° edge (d) 135° edge

에지-높이 모수(edge-height parameter) δ 을 사용한 에지 모형은 다음과 같이 표현한다.

$$\alpha_i = \begin{cases} X_i + \delta, & X_i \in A_L \\ X_i, & X_i \in A_R \end{cases},$$

$$\beta_i = \begin{cases} X_i - \delta, & X_i \in A_L \\ X_i, & X_i \in A_R \end{cases} \dots\dots\dots (3.1)$$

여기서 δ 는 두 영역 사이의 차이가 뚜렷하지 않으면 에지인 것으로 판정하는 것을 막기 위해 사용한다. 두 영역의 차이를 검정하기 위한 수정된 픽셀값에 대해 다음과 같이 가설을 세운다.

$$H_0 : |\mu_1 - \mu_2| = \delta \quad \text{versus} \quad H_1 : |\mu_1 - \mu_2| > \delta.$$

위의 가설에 대한 검정 방법으로는 모수적인 방법으로 T 검정과 비모수적인 방법으로 Wilcoxon 검정을 소개한다.

3.1 T 검정

F_1 과 F_2 을 각각 $N(\mu_1, \sigma_1^2)$ 와 $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 라 하고 $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 (= \sigma^2)$ 라고 가정하자. 가설 H_0 에 대한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$T^* = \frac{|\bar{X}_L - \bar{X}_R| - \delta}{S_p \sqrt{\frac{2}{N}}} \dots\dots\dots (3.2)$$

여기서 $\bar{X}_L = \sum_{i=1}^N X_i / N$ $\bar{X}_R = \sum_{i=N+1}^{2N} X_i / N$

$$S_p^2 = \left\{ \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_L)^2 + \sum_{i=N+1}^{2N} (X_i - \bar{X}_R)^2 \right\} / (2N-2).$$

식(3.2)의 검정통계량 T^* 가 t-분포표로부터 얻은 임계값보다 크면 에지라고 판단한다.

3.2 Wilcoxon 검정

식(3.1)의 δ -에지 모형 하에서 가설 H_0 을 검정하기 위해 먼저 $\mu_1 < \mu_2$ 가정 하에 H_1 에 대한 검정법을 생각하자. R_i 을 α_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_a = \sum_{i=1}^{2N} R_i I_{a_i},$$

$$\text{여기서 } I_{a_i} = \begin{cases} 0, & R_i \in \{ a_1, \dots, a_N \} \\ 1, & R_i \in \{ a_{N+1}, \dots, a_{2N} \} \end{cases}$$

이다. 다음으로 $\mu_1 > \mu_2$ 가정 하에 H_1 대한 검정법으로

S_i 을 β_i 의 순위라 할 때 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W_B = \sum_{i=1}^{2N} S_i I_{\beta_i},$$

$$\text{여기서 } I_{\beta_i} = \begin{cases} 1, & S_i \in \{ \beta_1, \dots, \beta_N \} \\ 0, & S_i \in \{ \beta_{N+1}, \dots, \beta_{2N} \} \end{cases}$$

이다. 따라서, 가설 H_0 을 검정하기 위한 검정 통계량은 다음과 같다.

$$W^* = \max(W_a, W_B) \dots\dots\dots (3.3)$$

이다. N 이 크면

$$Z_{W^*} = \frac{W^* - E(W^*)}{[Var(W^*)]^{1/2}} \dots\dots\dots (3.4)$$

은 표준 정규 분포를 따른다. 여기서

$$E(W^*) = N(N+1)/2$$

$$Var(W^*) = N^2(2N+1)/12 \text{이다.}$$

검정통계량 식(3.3)의 W^* 혹은 식(3.4)의 Z_{W^*} 가 임계값보다 크면 에지가 존재한다고 판정한다.

IV. 영상 실험 및 성능분석

본 절에서는 Sobel 연산자를 이용한 수학적 방법, Canny 방법, Wavelet 변환방법 그리고 T 검정과 Wilcoxon 검정을 이용한 통계적 방법 간에 에지검출 성능을 표본영상과 인조영상을 가지고 성능 비교 실험을 한다.

영상에 추가된 잡음은 <표 1>에 주어졌다. 가우시안잡음(Gaussian noise)은 평균이 0이고 주어진 표준편차를 갖는 잡음이고 임펄스 잡음(impulse noise)은 255와 0 값을 갖는 잡음이며 주어진 발생확률로 원영상에 추가한다.

가우시안잡음의 폭은 다음의 SNR (signal-to-noise ratio), 단위: dB)

$$SNR = 20 \log(25/\sigma)$$

로 나타내며 여기서 25는 인조영상에서 가정된 에지높이이고 σ 은 잡음표준편차이다.

표 1. 5 가지 잡음분포형태
Table 1. 5 different types of noise

잡음	잡음형태	발생확률	SNR(표준편차)
G20	가우시안		20 dB (25)
G10	가우시안		10 dB (7.9)
G5	가우시안		5 dB (14.05)
I0.1	임펄스	0.1	
I0.2	임펄스	0.2	

4.1 표본영상

우리는 Lenna의 표본영상과 <표 1>에 주어진 5 가지 잡음을 추가한 잡음영상에 대해 실험을 하였다. (그림 2)는 실험에 사용된 일부분의 영상들이다.

통계적인 T 검정과 Wilcoxon 검정은 유의수준 0.05에서 검정하였고, Canny 방법은 이중임계값(double threshold)

20과 40을 사용하였으며 Sobel 방법은 영상의 평균값인 127.5를 사용하였다.



그림 2. (a) 원영상 (b) 가우시안 잡음 G10이 추가된 잡음영상 (c) 임펄스 잡음 I0.1이 추가된 영상

Fig 2. Test images: (a) Lenna image (b) Lenna image corrupted by G10 (c) Lenna image corrupted by I0.1

(그림 3, 4) 그리고 5는 각각 (그림 2(a), 2(b)) 그리고 2(c)로부터 에지높이 8-15인 경우 얻어진 에지맵들이다. (그림 3)은 원영상에 대해서는 모든 방법들이 에지를 잘 검출함을 보여주고 있다. 그리고 T 검정과 Wilcoxon 검정, 그리고 Sobel방법은 다른 Canny 방법과 Wavelet 변환방법보다 진하게 에지를 검출함을 알 수 있다. (그림 4)는 가우시안 잡음영상에서 모든 방법들은 원영상에 비해 잡음이 에지와 함께 검출되고 있으나 에지정보는 보전됨을 알 수 있다. 임펄스 잡음영상에서 얻은 (그림 5)는 Wilcoxon 검정을 제외한 T 검정, Canny 방법, Sobel방법 그리고 Wavelet 변환 방법 모두 잡음에 민감하여 에지보존이 안됨을 알 수 있다.



그림 3. (a)는 Wilcoxon 검정, (b) T 검정, (c) Sobel 방법, (d) Canny 방법, (e) Wavelet 변환방법을 그림 2(a)에 적용하여 얻은 에지맵이다.

Fig 3. Edge detection results for Lenna image in Fig 2(a): (a) Wilcoxon test (b) T test (c) Sobel detector (d) Canny detector (e) Wavelet detector

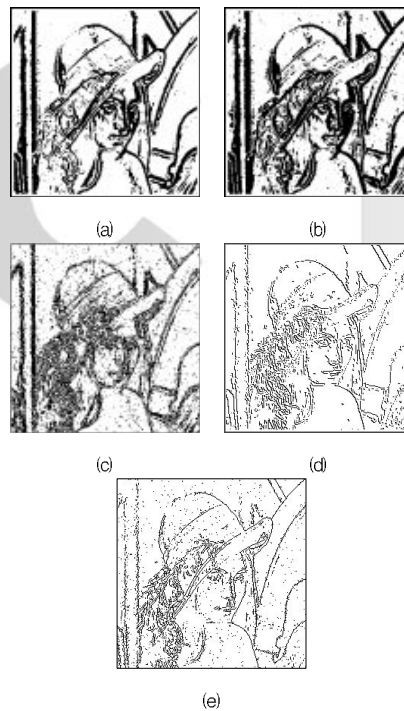


그림 4. (a)는 Wilcoxon 검정, (b) T 검정, (c) Sobel 방법, (d) Canny 방법, (e) Wavelet 변환방법을 그림 2(b)에 적용하여 얻은 에지맵이다.

Fig 4. Edge detection results for Lenna image in Fig 2(b): (a) Wilcoxon test (b) T test (c) Sobel detector (d) Canny detector (e) Wavelet detector

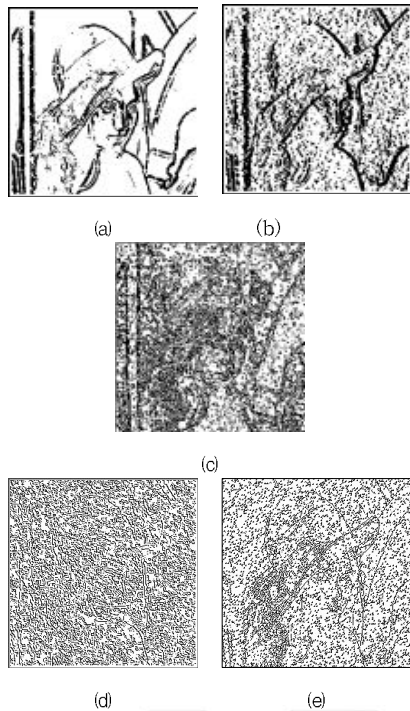


그림 5. (a)는 Wilcoxon 검정, (b) T 검정, (c) Sobel 방법, (d) Canny 방법, (e) Wavelet 변환방법을 그림 2(c)에 적용하여 얻은 에지맵이다.
 Fig 5. Edge detection results for Lena image in Fig 2(c):
 (a) Wilcoxon test (b) T test (c) Sobel detector (d) Canny detector (e) Wavelet detector

4.2 인조영상

에지검출방법들의 양적인 성능비교를 위해 64 × 64 크기의 인조영상을 가지고 실험한다.

인조영상은 하나의 수직에지를 갖고 있으며 에지 왼쪽에 있는 픽셀값들은 115이고 오른쪽에 있는 픽셀값들은 140인 계단영상(step image)이다.

원영상에 <표 1>에 있는 잡음을 추가하여 얻은 잡음영상에 대해 객관적인 척도로서 다음과 같이 정의된 Pratt[10]의 Figure of merit(PFOM)를 계산한다.

$$R = \frac{1}{I_N} \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1 + \beta d_i^p}$$

여기서 I_N 은 I_f , I_A 중 최대값이며 I_f 와 I_A 는 각각 실제 에지수와 검출된 에지수이다. 그리고 d_i 는 잘못 검출된

번째 에지점이 실제 에지점과의 거리이고 β 는 스케일 상수인데 우리 실험에서는 1/9로 하였다. 각 에지검출방법에서 임계값은 표본영상에서 에지맵을 얻기 위해 사용된 똑같은 임계값을 사용하였다.

<표 2>는 $\delta = 10, 15$ 그리고 20인 경우 Wilcoxon 검정, T 검정과 Sobel 방법, Canny 방법, Wavelet 변환 방법들 간의 PFOM을 계산한 표이다. Wilcoxon 검정은 잡음분포에 관계없이 에지검출이 잘됨을 알 수 있으나 T 검정, Canny 방법과 Wavelet 변환방법은 가우시안 잡음영상에서는 Sobel 방법보다 좋은 결과를 낳으나 임펄스 잡음영상에서는 PFOM 수치가 낮아 성능이 떨어짐을 알 수 있다.

표 2. 에지검출 방법들 간의 PFOM
 Table 2. PFOM for a variety of edge detectors

잡음	δ	에지검출방법들				
		Wilcoxon	T	Sobel	Canny	Wavelet
G20	10	1	1	0.997	0.986	0.990
	15	1	1			
	20	0.969	0.974			
G10	10	0.982	0.922	0.390	0.707	0.766
	15	0.722	0.716			
	20	0.325	0.242			
G5	10	0.614	0.341	0.186	0.212	0.329
	15	0.306	0.338			
	20	0.200	0.110			
I0.1	10	0.982	0.150	0.181	0.154	0.276
	15	0.982	0.135			
	20	0.982	0.161			
I0.2	10	0.843	0.143	0.166	0.147	0.270
	15	0.843	0.143			
	20	0.843	0.143			

V. 웹 상에서 구현

(그림 6)은 웹 상에서 영상에 대해 에지검출을 할 수 있는 애플리케이션 화면의 일부를 나타낸다. II 장에서 논의된 수학적 에지검출법과 Canny 방법 및 Wavelet 방법 그리고 III 장에서 논의된 통계적 에지검출법에 대해 Java 언어 (Java SDK 1.4.2 버전)를 이용하여 구현하였다.

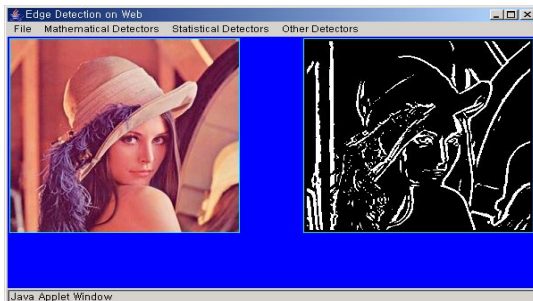


그림 6. 웹 상에서 에지검출을 위한 애플리케이션 화면
Fig 6. Application display for edge detection on the web

Java 언어에서 영상처리는 awt 패키지의 java.awt.image 클래스를 이용하여 수행한다. 자바 애플리케이션에서 영상을 적재하는 작업은 Toolkit 클래스에 있는 getImage() 메소드를 이용한다. getImage() 메소드에 의해서 생성된 영상의 픽셀에 접근하는 방법은 생산자(producer)/소비자(consumer) 모델을 이용하는데 PixelGrabber 클래스는 이러한 작업을 수행한다. 그리고 화면에 영상 출력은 Graphics 클래스의 drawImage() 메소드에 의해 수행된다.

본 애플리케이션은 클래스들의 상속관계를 이용하여 이미 정의된 클래스들을 재사용 할 수 있도록 프로그램 작성하였으며 웹 브라우저에서 실행하기위해 HTML 문서에 다음과 같이 <APPLET> 태그를 사용하였다.

```
<APPLET CODE="Edge.class" WIDTH=600 HEIGHT=400></APPLET>
```

여기서 CODE는 클래스 파일의 이름을 지정하는 곳이며 WIDTH와 HEIGHT는 애플릿이 차지하는 픽셀단위의 윈도우 크기를 나타낸다.

독자는 저자의 웹사이트 <http://www.pearl.gsnu.ac.kr>에 접속하여 “웹 상에서 에지검출기 구현”이라는 배너를 클릭함으로써 웹 애플리케이션을 직접 실행시킬 수 있다.

VI. 결론

본 논문은 통계적인 T 검정과 Wilcoxon 검정을 이용하여 에지를 검출하고 웹과 영상처리의 연결도구로서 적합한 Java 언어를 사용하여 웹 상에서 구현하였다.

지금까지 에지검출은 주로 미분 연산자를 이용한 수학적 방법들에 의해 이루어져 왔고 최근 통계적 방법을 이용한 에지검출에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 Sobel 연산자를 이용한 수학적 방법, Canny 방법, Wavelet 변환 방법 그리고 통계적인 T 검정과 Wilcoxon 검정을 이용한 에지검출 방법들 간에 에지맵을 통한 정성적인 비교와 인조영상에서 양적인 에지검출력 척도를 가지고 에지검출 성능을 비교하였다. 영상실험을 통하여 통계적 방법들은 잡음분포형태에 관계없이 로버스트하게 반응한 반면에 Sobel 방법, Canny 방법 그리고 Wavelet 변환방법은 잡음에 민감하여 에지 정보가 많이 소실됨을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 이강호, “거리영상에서 인식 특징을 이용한 경계선 검출 기법”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제6권 제2호, pp.14-19, 2001. 6.
- [2] 이강호, 안용학, 김학준, “디지털 영상처리를 위한 에지 클래스의 설계”, 한국컴퓨터정보학회논문지, 제9권 제2호, pp.49-55, 2004. 6.
- [3] Gonzales, R. C. and Woods, R. E. Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.

- [4] Bovik, A. C., Huang, T. S. and Munson, D. C. "Nonparametric Tests for Edge Detection in Noise", *Pattern Recognition*, 19(3), 209-219, 1986.
- [5] Lim, D. H. and Jang, S. J. "Comparison of Two-sample Tests for Edge Detection in Noisy Images". *Journal of the Royal Statistical Society Series D-The Statistician*, 51(1), 21-30. 2002.
- [6] Lim, D. H. "Robust Edge Detection in Noisy Image", to appear in *Computational Statistics and Data Analysis*. 2005.
- [7] Canny, J. "A Computational Approach to Edge Detection", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 8, 679-698, 1986.
- [8] Mallat, S. "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 11(7), 674-693, 1989.
- [9] Mallat, S. and Zhong, S. "Characterization of Signals from Multiscale Edges". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 14(7), 710-732, 1992.
- [10] Pratt, W. "Digital Image Processing", New York: Wiley, 1978.

저자 소개



임 동 훈

경상대학교 기초과학연구소 및 컴퓨

터정보통신연구소 연구원

경상대학교 정보통계학과 교수

<관심분야> 영상처리, 정보통계학

K C I